



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 361 230**

51 Int. Cl.:
G02C 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02722845 .1**

96 Fecha de presentación : **26.04.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1385038**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.01.2004**

54 Título: **Método de diseño de lente de gafas y lente de gafas.**

30 Prioridad: **26.04.2001 JP 2001-130059**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
15.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
15.06.2011

73 Titular/es: **HOYA CORPORATION**
7-5, Nakaochiai 2-chome
Shinjuku-ku, Tokyo 161-0032, JP

72 Inventor/es: **Yamakaji, Tetsuma**

74 Agente: **Toro Gordillo, Francisco Javier**

ES 2 361 230 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de diseño de lente de gafas y lente de gafas

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método de diseño de lente de gafas y a una lente de gafas diseñada mediante el mismo.

10 **Técnica anterior**

La ley de Listing en un movimiento del globo ocular significa que, cuando un globo ocular mira lejos hacia adelante (primera posición del ojo), existe un eje de rotación del movimiento del globo ocular en una superficie que incluye el centro de rotación del globo ocular y que es perpendicular a esta posición del ojo (superficie de Listing). En este caso, cuando el globo ocular gira desde la primera posición del ojo a lo largo de los meridianos principales de la gafa (que representan dos líneas vertical y horizontal ortogonales entre sí sobre una superficie curvada gaussiana y que representan lo mismo por debajo) según la ley de Listing en el momento que se llevan gafas astigmáticas, los meridianos principales de la gafa y los ejes de un sistema de coordenadas que giran según la ley de Listing se hacen paralelos entre sí y un ángulo entre ellos se hace 0.

Sin embargo, cuando el movimiento del globo ocular cambia en una dirección diferente con respecto a los meridianos de la gafa, el ángulo entre los meridianos de la gafa y los ejes de coordenadas que giran según la ley de Listing no se hace 0 para producir una desviación del ángulo.

25 Teniendo en cuenta esta desviación del ángulo del sistema de coordenadas, puede calcularse un astigmatismo y una curvatura de campo (también llamada error de potencia) precisos.

Un método de diseño de lente de gafas en el que se tiene en cuenta este movimiento del globo ocular (ley de Listing) se da a conocer en la publicación de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º Sho 57-10112 (denominada a continuación en el presente documento técnica anterior 1)(véase la figura 5 en la técnica anterior 1). El documento US 4.613.217 da a conocer un método de diseño de lente de gafas similar.

Mientras, se conoce la optimización de funciones de evaluación para diversos tipos de aberraciones, una forma de lente, etc. mediante el cálculo de optimización en un procedimiento de corrección de aberración en el diseño de una lente tal como se da a conocer, por ejemplo, en la publicación de patente japonesa n.º Hei 2-38930.

Para explicar las líneas generales de este cálculo de optimización, tomando como ejemplo el diseño de una lente esférica monofocal, aunque es una técnica conocida en el diseño de lente de gafas, los datos sobre un material de lente y las especificaciones de prescripción se facilitan como especificaciones de diseño básicas, elementos tales como un espesor del centro se incluyen además como especificaciones adicionales en caso de una lente positiva, y se obtiene mediante cálculo una combinación de formas de superficie de refracción de una superficie frontal y una superficie posterior que los satisfaga y que tenga una aberración óptica lo más pequeña posible. La superficie de refracción se expresa como una superficie que está matematizada mediante una función y la función consiste en una pluralidad de parámetros que definen una lente de gafas. Los parámetros incluyen un índice de refracción del material, un diámetro de lente, los radios de curvatura de la superficie frontal y la superficie posterior, el espesor del centro, un coeficiente cónico esférico, un coeficiente esférico de grado elevado, etc. Se clasifican en factores fijos y factores variables según el objeto del diseño de la lente, y los factores variables se tratan como parámetros variables.

Entonces, usando un método de trazado de rayos y un método de trazado de frente de onda, se establece una pluralidad de puntos de evaluación cuyas distancias desde un eje óptico sobre la superficie de refracción son diferentes sobre la superficie de la lente, expresándose la aberración óptica en cada uno de los puntos de evaluación como una función de evaluación (función de mérito), y se realiza el cálculo para obtener la función de evaluación mínima usando un método de cálculo de optimización tal como un método de mínimos cuadrados amortiguado. En este momento, se repiten las simulaciones mientras se operan los parámetros variables de la superficie de refracción, y cuando se obtiene un valor objetivo, se determina la forma final de la superficie de refracción.

Como parámetros que constituyen la función de evaluación (función de mérito) en el cálculo de optimización, se conocen generalmente el astigmatismo y la curvatura de campo, y en un caso, por ejemplo, cuando la superficie frontal y la superficie posterior se diseñan ambas de manera esférica en un método de diseño en una técnica anterior, suponiendo que las aberraciones que muestran, en una unidad de dioptría, dos posiciones focales F_t , F_s obtenidas por el método de trazado de rayos basándose en un foco D obtenido por un trazado de rayo paraxial son t (error tangencial) y s (error sagital) tal como se muestra en la figura 11, una lente en la que el astigmatismo $= (t - s)$ es mínimo se denomina una forma de Tscherning y una lente en la que la curvatura de campo $= (t + s)/2$ es mínima se denomina una forma de Percival. En la publicación de patente japonesa n.º Sho 42-9416, se da a conocer una

función de evaluación en la que t y s se combinan de manera complicada y que se expresa como una aberración horizontal.

5 También se conoce que una aberración de distorsión es una función de evaluación importante en el cálculo de optimización del diseño mencionado anteriormente, y se propone un diseño en el que se tiene en cuenta, por ejemplo, en la publicación de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º Sho 55-59425 (denominada a continuación en el presente documento técnica anterior 2) y el documento APPLIED OPTICS, Vol. 21, n.º 162982-2991: escrito por Milton Katz (denominada a continuación en el presente documento técnica anterior 3).

10 Como una de las superficies curvadas libres entre las formas de superficie de refracción de la lente, se conoce una superficie atórica además de una superficie esférica y una superficie astigmática.

15 Se da a conocer el uso de una función de *spline* como una ecuación usada para expresar la superficie atórica en la publicación de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º Sho 62-30216 (técnica anterior 4) y se da a conocer una ecuación que usa funciones ortogonales de xy en la publicación internacional n.º WO 93/07525 (denominada a continuación en el presente documento técnica anterior 5).

20 En los últimos años, sin embargo, se ha descubierto que la agudeza visual está estrechamente relacionada con el procesamiento en el cerebro y se ha conocido que la agudeza visual está constituida principalmente por una imagen en la retina y el procesamiento de la imagen en la retina y el cerebro.

Mientras, en el diseño de lentes de gafas en la técnica anterior, en dicha idea ha predominado que el rendimiento de una lente de gafas mejora a medida que el rendimiento óptico de la lente se hace superior.

25 Por ejemplo, en el método de cálculo de optimización descrito anteriormente, la función de evaluación en la técnica anterior se basa en una evaluación solamente mediante cálculo óptico, tal como una evaluación del tamaño de una imagen y t (error tangencial) y s (error sagital) de la aberración etc., que se calculan en una esfera de punto lejano (FPS) en la figura 11 mediante el método de trazado de rayos, y además, un plano de imagen o una superficie de retina también se tratan como una superficie de película de una cámara sin considerar una función fisiológica de un ojo tal como el movimiento del globo ocular.

35 Además, puesto que la aberración de distorsión se trata como una cantidad óptica de una cámara como se describió anteriormente también en la técnica anterior 3 mencionada anteriormente, la función de evaluación usada en ella es diferente de una función de evaluación basándose en un aumento de ángulo visual M que se usa en las gafas (por ejemplo, KOHGAKU (OPTICS), Vol. 19, n.º 10 "Futatabi Kakubairitsu nitsuite (On Angle Magnification Again)" Kazuo Miyake), y además, tampoco se da a conocer una lente astigmática ni el diseño en el que se tiene en cuenta el movimiento del globo ocular. Además, la técnica anterior 2 mencionada anteriormente no da a conocer ningún contenido técnico concreto de la misma y su estado real no queda claro.

40 Mientras, en el diseño de lentes, el uso de la función de *spline* para la superficie atórica que tiene un grado superior de libertad de expresión, que se da a conocer en la técnica anterior 4 mencionada anteriormente, permite la expresión de formas de superficies libres, pero tiene la desventaja de que carece básicamente de precisión en la expresión de superficie. Además, en la técnica anterior 5 mencionada anteriormente, no se utilizan las propiedades del movimiento del globo ocular usando la ley de Listing, lo que da como resultado una superficie óptica insuficiente.

45 La técnica anterior 1 da a conocer un método de diseño en el que se tiene en cuenta el movimiento del globo ocular usando la ley de Listing. Sin embargo, en este caso, se centra en la explicación de la idea técnica descrita anteriormente, y en el diseño de lente concreto, se realiza la evaluación del rendimiento basándose solamente en un astigmatismo derivado del cálculo óptico, y es insuficiente una función de evaluación en el cálculo de optimización.

50 Además, no se facilita una no concreta sobre la expresión de una superficie de lente.

55 Además, el diseño en esta técnica anterior 1 es esencialmente igual que el de la técnica anterior basándose en la idea de que se mejora el rendimiento de una lente de gafas a medida que el rendimiento óptico se hace superior y no tiene en cuenta la correlación con la agudeza visual.

60 Por tanto, está claro que la evaluación del rendimiento de una lente de gafas basándose solamente en índices tales como una cantidad óptica en la retina y las aberraciones es inexacta como simulación en un cuerpo humano vivo puesto que no se tienen en cuenta los puntos de vista del procesamiento en la retina y el cerebro y del movimiento del globo ocular tal como se describió anteriormente.

Un objeto de la presente invención, que se realiza para resolver estos problemas, es proporcionar una lente de gafas con alto rendimiento que mejore la agudeza visual y que proporcione un método de diseño de la misma.

65

Descripción de la invención

5 Con el fin de resolver los problemas descritos anteriormente, una primera invención es un método de diseño de lente de gafas en que se tiene en cuenta un movimiento del globo ocular (ley de Listing), y que se caracteriza porque una función de mérito usada en el procedimiento de cálculo de optimización del diseño de la lente incluye una función de evaluación de la agudeza visual (logMAR) derivada de un valor medido de agudeza visual V, en el que la función de evaluación de la agudeza visual (logMAR) se expresa mediante la ecuación (1) siguiente, suponiendo que una curvatura de campo es una aberración de una lente de gafas y un astigmatismo residual es un astigmatismo definido con respecto al diseño de lente de gafas en el que se tiene en cuenta la ley de Listing:

$$10 \quad \text{La función de evaluación de la agudeza visual (log MAR) = } \log_{10}(1/V \text{ (curvatura de campo, astigmatismo residual)}) \quad \dots(1)$$

15 Una segunda invención es un método de diseño de lente de gafas que se caracteriza porque, en el método de diseño de lente de gafas de la primera invención, si el valor medido de agudeza visual V es $V = 2^{-X \cdot K}$ (donde K = $\{(dioptría \text{ residual } S + dioptría \text{ residual } C/2)^2 + (dioptría \text{ residual } C/2)^2\}^{1/2}$ y X es un coeficiente de entre 0,5 y 2 según los datos de medición reales), la función de evaluación de la agudeza visual (logMAR) se expresa mediante la ecuación (2) siguiente que es una ecuación aproximada:

$$20 \quad \text{La función de evaluación de la agudeza visual (log MAR) = } X \times \log_{10} 2 \times \{curvatura \text{ de campo}^2 + (astigmatismo \text{ residual}/2)^2\}^{1/2} \quad \dots(2)$$

20 Una tercera invención es un método de diseño de lente de gafas que se caracteriza porque, en el método de diseño de lente de gafas de la primera invención, la función de mérito incluye una función de evaluación sobre una aberración de distorsión (aberración de distorsión residual DIST) y la función de evaluación se expresa mediante la ecuación (3) siguiente:

$$25 \quad \text{aberración de distorsión residual DIST = Signo} \times 100 \times (\text{valor absoluto del aumento del ángulo visual residual/valor absoluto del aumento del ángulo visual central } M_0) \quad \dots(3)$$

donde:

- 30 • el aumento de ángulo visual residual es la aberración de distorsión definida con respecto al diseño de lente de gafas en el que se tiene en cuenta la ley de Listing; y
- el Signo es un signo positivo/negativo.

35 Una cuarta invención es un método de diseño de lente de gafas que se caracteriza porque, en el método de diseño de lente según una cualquiera de la primera invención a la tercera invención, se usa la función de mérito en el cálculo de optimización del diseño de la lente de una lente biasférica en la que una superficie frontal es una superficie esférica axialmente simétrica y una superficie posterior es una superficie esférica expresada mediante la ecuación (4) siguiente:

$$40 \quad Z2 = c(\theta) \cdot r^2 / (1 + \sqrt{1 - (1 + k(\theta)) \cdot c(\theta)^2 \cdot r^2}) + \sum_n a(n, \theta) \cdot r^n \quad \dots(4)$$

donde:

- 45 • $c(\theta)$, $k(\theta)$ son funciones para un azimut θ ;

- $a(n, \theta)$ es una función para un grado n de una distancia r y el azimut θ ;
- en cuanto a un dominio de definición del azimut θ , de 0 grados a 90 grados representa de 0 grados a 360 grados debido a una simetría de plano de una lente astigmática;

- $c(\theta)$ es una curvatura de un centro de lente y se expresa mediante la ecuación (5) siguiente basándose en el teorema de Euler, si una curvatura de un meridiano principal de la gafa en el teorema de la curva gaussiana es $c(0)$ a 0 grados y $c(90)$ a 90 grados. En este caso, 0 grados es un eje de dioptría esférico y 90 grados es un eje de dioptría cilíndrico;

$$c(\theta) = c(0) \cdot \cos^2 \theta + c(90) \cdot \sin^2 \theta \quad \dots(5)$$

- $k(\theta)$, que es similar al $c(\theta)$ anterior, representa una ecuación en la que el signo c se reemplaza por el signo k en la ecuación (5) anterior; y

- $a(n, \theta)$ satisface los requisitos de continuidad de plano y simetría de plano, es una superficie que satisface adicionalmente un requisito de una superficie que puede controlar una aberración debido a una desviación del ángulo que se produce debido a la ley de Listing, y además satisface las condiciones siguientes ① a ④:

①: tener una relación funcional del azimut θ de desde 0 grados hasta 90 grados;

②: un coeficiente diferencial lineal del azimut θ es 0 de desde 0 grados hasta 90 grados;

③: un coeficiente diferencial de grado elevado es continuo; y

④: tener un grupo de parámetros de control $P_s(n)$ que puede controlar un valor de $a(n, \theta)$ a un ángulo θ de una función entre los azimut de 0 grados y 90 grados (en el que de 1 a 3 son preferibles para s , y n significa un grado en la ecuación (4) anterior).

Una quinta invención es un método de diseño de lente de gafas que se caracteriza porque, en el método de diseño de lente de gafas según la cuarta invención, $a(n, \theta)$ en la ecuación (4) anterior se expresa mediante la ecuación (6) siguiente que es un polinomio de cuarto grado del azimut θ , si a es $a(n, 0)$, $a(n, 45)$, y $a(n, 90)$ cuando el azimut θ es 0 grados, 45 grados, y 90 grados, respectivamente:

$$a(n, \theta) = a(n, 0) + (-11 \cdot a(n, 0) + 16 \cdot a(n, 45) - 5 \cdot a(n, 90)) \cdot \theta^2 / (4 \cdot 90^2) + (9 \cdot a(n, 0) - 16 \cdot a(n, 45) + 7 \cdot a(n, 90)) \cdot \theta^3 / (4 \cdot 90^3) + (-2 \cdot a(n, 0) + 4 \cdot a(n, 45) - 2 \cdot a(n, 90)) \cdot \theta^4 / (4 \cdot 90^4) \quad \dots(6)$$

donde un parámetro de control es uno para el grado n de la distancia r desde el centro y un parámetro de control $P_1(n)$ es $a(n, 45)$.

Una sexta invención es un método de diseño de lente de gafas que se caracteriza porque, en el método de diseño de lente de gafas según la cuarta invención, $a(n, \theta)$ en la ecuación (4) anterior se expresa mediante la ecuación (7) siguiente, si a es $a(n, 0)$ y $a(n, 90)$ cuando el azimut θ es 0 grados y 90 grados, respectivamente:

$$a(n, \theta) = a(n, 0) \cdot \cos^2 \theta + a(n, 90) \cdot \sin^2 \theta + P_1(n) \cdot \sin^2(2 \cdot \theta) \quad \dots(7)$$

donde un parámetro de control es un parámetro de control $P_1(n)$ para el grado n de la distancia r desde el centro.

Una séptima invención es una lente de gafas que se caracteriza porque se diseña mediante el método de diseño de lente de gafas según una cualquiera de la primera invención a la sexta invención.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista explicativa de un método de diseño de lente de gafas según una realización de la presente invención;

- 5 la figura 2 es una vista explicativa de una DIST ampliada;
- la figura 3 es una vista que muestra la tabla 1 en la que se enumeran los datos de la lente en el ejemplo 1;
- 10 la figura 4 es una vista que muestra la tabla 2 en la que se enumeran los datos de la lente en el ejemplo de comparación del ejemplo 1;
- la figura 5 es una vista que muestra la función de evaluación de la agudeza visual (logMAR) en el ejemplo 1;
- 15 la figura 6 es una vista que muestra la función de evaluación de la agudeza visual (logMAR) en el ejemplo de comparación del ejemplo 1;
- la figura 7 es una vista que muestra la tabla 3 en la que se enumeran los datos de la lente en el ejemplo 2;
- 20 la figura 8 es una vista que muestra la distribución de un primer cuadrante de la DIST ampliada en el ejemplo 2;
- la figura 9 es una vista que muestra la distribución de la DIST ampliada en el ejemplo de comparación del ejemplo 1;
- la figura 10 es una vista que muestra la función de evaluación de la agudeza visual (logMAR) en el ejemplo 2;
- 25 la figura 11 es una vista explicativa de un método de diseño de lente de gafas en una técnica anterior; y
- la figura 12 es una vista que muestra los valores de medición reales de agudeza visual.

30 VS: superficie esférica de vértice posterior; V: vértice posterior; W: punto de referencia de longitud focal; R: centro de rotación de globo ocular; FPS: esfera de punto lejano; Ft: foco en la dirección de la tangente radial; Fs: foco en la dirección sagital; D: imagen sobre esfera de punto lejano; Ws: punto de referencia de la longitud focal del rayo que pasa sobre el eje S; Wc: punto de referencia de la longitud focal del rayo que pasa sobre el eje C; FPS: esfera de punto lejano en la dirección del eje S; FPC: esfera de punto lejano en la dirección del eje C; Fst: foco en la dirección del eje S del rayo que pasa sobre el eje S; Fss: foco en la dirección del eje C del rayo que pasa sobre el eje S; Fct: foco en la dirección del eje S del rayo que pasa sobre el eje C; Fcs: foco en la dirección del eje C del rayo que pasa sobre el eje C; DS: imagen sobre la esfera de punto lejano en la dirección del eje S; DC: imagen sobre la esfera de punto lejano en la dirección del eje C; P: punto de evaluación del aumento de ángulo visual; MO: aumento de ángulo visual de referencia en la dirección P; M: aumento de ángulo visual en la posición P

Mejor modo para llevar a cabo la invención

45 Está disponible un artículo sobre el procesamiento del cerebro y la retina en lo que respecta a la agudeza visual, Optmetric Monthly, Nov.: 31-32 1981: escrito por Robert N. Kleinstein (denominado a continuación en el presente documento artículo 1).

50 Un dibujo en el artículo 1 anterior muestra una vista en la que un valor medido de agudeza visual se expresa mediante un valor de agudeza visual en fracción, tomando la dioptría S y la dioptría C como términos de la gafa en un eje horizontal y un eje vertical, respectivamente y se realiza un experimento de medición de la agudeza visual de un usuario de gafas con sus gafas retiradas. Con el fin de usar este artículo 1 como una función de evaluación de una función de mérito en el diseño de lente de gafas, los valores medidos se modifican de tal manera que se invierten los signos del valor del eje horizontal S y el valor del eje vertical C, concretamente, la dioptría residual S y la dioptría residual C se toman en el eje horizontal y el eje vertical respectivamente para obtener los datos de evaluación que muestran cuánto disminuye la agudeza visual cuando una persona que tiene una agudeza visual normal usa gafas con una aberración, de manera inversa al experimento anterior.

55 En la figura 12 descrita anteriormente, se proporcionan los datos para las edades de 5 a 15, de 25 a 35, y de 45 a 55 como datos de medición reales, pero puesto que es preferible usar un valor medido de agudeza visual virtual no afectado por una potencia de ajuste, los datos para las edades de 45 a 55 se usaron del artículo 1 por motivos de conveniencia.

60 La dioptría residual S y la dioptría residual C mencionadas anteriormente se correlacionan con un astigmatismo y una curvatura de campo derivados del cálculo óptico tal como se describe más adelante. En el diseño de la lente de gafas en la técnica anterior en el que no se tiene en cuenta la ley de Listing, sin embargo, el astigmatismo y la curvatura de campo no pueden calcularse de manera precisa en regiones en las que un globo ocular no gira a lo largo de dos meridianos principales de la gafa tal como se ha descrito anteriormente. Por lo tanto, se requiere un

sistema de diseño de lente de gafas en el que se tenga en cuenta la ley de Listing y que incluya un nuevo cálculo de aberración de lente (astigmatismo y curvatura de campo) con el fin de usar los valores medidos de la medición de la agudeza visual mencionados anteriormente en el artículo 1 como una función de evaluación en la totalidad de la superficie de una lente.

5 **(Sistema de diseño de lente de gafas que incluye el cálculo de aberración (astigmatismo y curvatura de campo) de lente)**

10 La figura 1 es una vista que explica un modelo que va a ser un factor en un método de diseño de lente de gafas según una realización de la presente invención, y la figura 11 es una vista que explica un modelo en un técnica anterior con el que se compara el modelo anterior.

15 En el caso de rayos que pasan por los ejes S y C de una lente astigmática mostrada en la figura 1, es válido un cálculo similar al caso mostrado en la figura 11 de un sistema de diseño en la técnica anterior.

Sin embargo, en un eje en una dirección de radiación de lente diferente de los ejes S y C de la lente astigmática de la figura 1, es necesario calcular el astigmatismo y la curvatura de campo teniendo en cuenta un movimiento del globo ocular, que se calculan mediante el método siguiente.

20 A continuación en el presente documento, será explicada de manera sencilla la correlación de la dioptría residual S y la dioptría residual C con el astigmatismo y la curvatura de campo en el sistema de diseño de lente de gafas en el que se tiene en cuenta la ley de Listing.

25 **I. (Astigmatismo y curvatura de campo)**

En la técnica anterior 1 en la que se tiene en cuenta la ley de Listing, cuando el giro se produce en una dirección diferente de los meridianos principales de la gafa, el ángulo entre los meridianos principales de la gafa y los ejes de coordenadas que giran según la ley de Listing no se hace 0. Cuando se produce la desviación del ángulo tal como se describe en la técnica anterior 1, el astigmatismo, incluso cuando normalmente es un astigmatismo que tiene un valor absoluto del astigmatismo igual a un valor absoluto de un astigmatismo de referencia (una cantidad astigmática y un eje cilíndrico en el centro de una lente), tiene una dirección similar a un valor de vector de modo que se produce nuevamente un astigmatismo residual cuyo valor no es 0.

35 En cuanto a un método de cálculo del astigmatismo residual anterior, pueden aplicarse métodos de cálculo de una lente astigmática y del astigmatismo residual de la lente astigmática tal como se da a conocer, por ejemplo, en la técnica anterior 1.

Mientras, la curvatura de campo como otro factor no cambia debido al cambio coordinado según la ley de Listing puesto que la curvatura de campo es una cantidad escalar no relacionada con un vector.

40 **I-1. (Astigmatismo residual)**

Por tanto, la correlación del astigmatismo residual mencionado anteriormente y la curvatura de campo con la dioptría residual S y la dioptría residual C son como sigue:

45 (1) Cuando el astigmatismo residual es positivo, su correlación se expresa mediante las ecuaciones (a), (b) siguientes:

50
$$\text{dioptría residual S} = \text{curvatura de campo} - \text{astigmatismo residual}/2 \quad \dots(a)$$

$$\text{dioptría residual C} = \text{astigmatismo residual} \quad \dots(b)$$

(2) Cuando el astigmatismo residual se hace negativo en un cálculo óptico, su correlación se expresa mediante las ecuaciones (c), (d) siguientes basándose en una idea similar a la conversión de dioptría de las gafas puesto que la dioptría residual C está definida como positiva:

55
$$\text{dioptría residual S} = \text{curvatura de campo} + \text{astigmatismo residual}/2 \quad \dots(c)$$

$$\text{dioptría residual C} = - \text{astigmatismo residual} \dots(d)$$

II. (Derivando la función de mérito en la que se tiene en cuenta la naturaleza no lineal del cuerpo humano vivo en vista del rendimiento óptico)

5 Al analizar la figura 12 en el artículo 1 mencionado anteriormente, se descubrió en primer lugar que el eje horizontal (dioptría residual S) no es simétrico con respecto al origen. Además, el eje vertical (dioptría residual C) también tiene datos no lineales característicos del cuerpo humano vivo.

10 Por ejemplo, cuando se examinan los valores de agudeza visual con el mismo valor absoluto sobre el eje horizontal y con signos diferentes, está claro que la relación funcional no es sencilla. Por tanto, cuando el cálculo de optimización se realiza directamente en el cálculo óptico sin tener en cuenta la naturaleza no lineal característica del cuerpo humano vivo, esto no siempre indica que se mejora la agudeza visual a través de una lente diseñada, puesto que el valor de agudeza visual es no lineal en relación con un valor de rendimiento óptico.

15 Por tanto, en la realización de la presente invención, en primer lugar se prepara una función de interpolación de la agudeza visual en fracción a partir de los datos en los valores medidos de agudeza visual en fracción en la figura 12. Concretamente, se prepara una ecuación (e) mediante la cual puede calcularse la función de interpolación V incluso con dioptría residual S y dioptría residual C continuas usando un método de interpolación conocido generalmente, tomando los valores de agudeza visual para los valores del eje horizontal (dioptría residual S) y los valores del eje vertical (dioptría residual C) mediante valores discretos (cada 0,1 a 1 dioptría).

20 Esto se expresa mediante la ecuación siguiente:

$$\text{función de interpolación V} = V(\text{dioptría residual S, dioptría residual C}) \dots(e)$$

25 Usando esta función de interpolación V, se calculan el astigmatismo residual y la curvatura de campo de la lente mencionados anteriormente, y se substituyen por la dioptría residual S y la dioptría residual C en las ecuaciones (a), (b) o las ecuaciones (c), (d).

30 Entonces, el valor óptico y el valor de agudeza visual se correlacionan de tal manera que se obtiene un lado derecho mediante el cálculo óptico y un lado izquierdo es el valor de agudeza visual mediante medición real como en la ecuación (f) siguiente:

$$\text{función de interpolación V} = V(\text{curvatura de campo, astigmatismo residual}) \dots(f)$$

35 La ecuación (f) en este estado puede usarse como una función de evaluación, pero puesto que la no linealidad es alta, no es el mejor estado para el cálculo de optimización.

40 Por tanto, se transforma adicionalmente a la ecuación (g) siguiente expresada mediante una función de evaluación de la agudeza visual logMAR, que es una ecuación de definición para representar la agudeza visual.

$$\text{La función de evaluación de la agudeza visual (log MAR)} = \log_{10}(1/V(\text{curvatura de campo, astigmatismo residual})) \dots(g)$$

45 A través de los procedimientos anteriores, se deduce la función de evaluación en la que se tiene en cuenta la naturaleza no lineal del cuerpo humano vivo desde el punto de vista del rendimiento óptico.

La agudeza visual del cuerpo humano vivo naturalmente cambia en gran medida dependiendo de la edad, un

entorno de medición, etc.

En la aplicación real, sin embargo, el método básico descrito anteriormente requiere una gran cantidad de cálculo en el cálculo de optimización.

5 Por tanto, en lugar de la ecuación (e) mediante la cual puede calcularse la función de interpolación V mencionada anteriormente, pueden usarse ecuaciones de aproximación sencillas tales como las ecuaciones (h), (i) siguientes:

$$V = 2^{-X} \cdot K \quad \dots(h)$$

10 donde,

• K se expresa mediante la ecuación (i) siguiente:

$$K = \{(dioptría residual S + dioptría residual C/2)^2 + (dioptría residual C/2)^2\}^{1/2} \quad \dots(i)$$

15 • X es un coeficiente de entre 0,5 y 2 según los datos medidos realmente.

20 En el caso anterior, V puede usarse tal cual como la función de evaluación, pero la correlación con la función de evaluación de la agudeza visual logMAR se expresa mediante la ecuación siguiente, tal como se explica en el método básico mencionado anteriormente.

$$[(curvatura de campo^2 + (astigmatismo residual/2)^2)^{1/2}] \quad \dots(j)$$

25 Además, las ecuaciones aproximadas pueden transformarse incluyendo valores medidos según la edad además de los datos en el material para la agudeza visual medida realmente y usando otros datos de medición de la agudeza visual. Por ejemplo, la transformación de la ecuación (h) tal como la siguiente ecuación $V = 3^{-K}$ es posible con la condición de se encuentre dentro de un intervalo variable de X. En este caso, la ecuación (j) se vuelve tal como sigue:

$$30 \quad \text{La función de evaluación de agudeza visual (log MAR)} = \log_{10} 3 \times \{(curvatura de campo^2 + (astigmatismo residual/2)^2)^{1/2}\}$$

III. (Aberración de distorsión teniendo en cuenta la ley de Listing)

35 Además, existe una aberración de distorsión, como una aberración que ha de corregirse por las gafas, que no está relacionada con un valor de agudeza visual.

40 Esto se conoce ampliamente como una causa de oscilación y distorsión que se produce principalmente al inicio cuando se empieza a usar gafas. De manera convencional, la distorsión de gafas se expresa como un aumento de ángulo visual (por ejemplo, véase KOHGAKU (OPTICS), Vol. 19, n.º 10 "Futatabi Kakubairitsu nitsuite (On Angle Magnification Again)" escrito por Kazuo Miyake, etc.).

45 Cuando esto se expresa mediante una ecuación, si un aumento de ángulo visual central es M_0 , se obtiene la ecuación (k) siguiente:

$$\text{aumento de ángulo visual central } M_0 = 1 \operatorname{im}_{\text{ángulo de salida} \rightarrow 0} (\tan(\text{ángulo de salida}) / \tan(\text{ángulo incidente})) \dots(k)$$

5 En este caso, el aumento de ángulo visual central M_0 puede calcularse fácilmente mediante cálculo óptico paraxial. El aumento de ángulo visual central M_0 se explicará de manera sencilla. Cuando un rayo emergente pasa por el centro de la pupila de entrada del globo ocular, el aumento de ángulo visual central M_0 se denomina un aumento de gafas.

10 Además, si un aumento de ángulo visual periférico es M , este aumento de ángulo visual M se expresa mediante la ecuación (l) siguiente:

$$\text{aumento de ángulo visual periférico } M = \tan(\text{ángulo de salida}) / \tan(\text{ángulo incidente}) \dots(l)$$

15 Entonces, la aberración de distorsión (DIST) de gafas se expresa mediante la siguiente ecuación (m) basándose en las ecuaciones (k), (l):

$$\text{aberración de distorsión } DIST = 100 \times ((M/M_0) - 1) \dots(m)$$

20 Por otro lado, en el modelo en la figura 1, el rayo emergente pasa por el centro de rotación del globo ocular y la aberración de distorsión DIST se denomina una aberración de distorsión dinámica de las gafas.

25 En este caso, al estudiarse la ecuación (m), se produce una aberración de distorsión residual DIST debido a la diferencia (desviación del ángulo) de una dirección del eje puesto que la aberración de distorsión DIST, aunque sea la aberración DIST con la misma cantidad, es un valor de vector, de manera similar a la explicación previa sobre el astigmatismo.

Por tanto, el aumento de ángulo visual central M_0 y el aumento de ángulo visual periférico M en la técnica anterior se calculan como la aberración de distorsión DIST cuando están en la misma dirección.

30 Por ejemplo, si el aumento de ángulo visual central M_0 y el aumento de ángulo visual periférico M en la misma dirección son la misma cantidad, la aberración de distorsión DIST se calcula como la aberración de distorsión DIST = 0 mediante la ecuación (m).

35 Puesto que la desviación del ángulo mencionada anteriormente provocada por el movimiento del globo ocular se incluye en el cálculo, el aumento de ángulo visual central M_0 y el aumento de ángulo visual periférico M se definen ambos ampliamente como cantidades de vector.

40 Entonces, cuando la lente es una lente astigmática, el aumento de ángulo visual de giro M_0 se convierte en un valor de vector que tiene un valor diferente en la dirección de radiación en un punto de referencia de dioptría de lente (habitualmente, la parte de centro de la lente).

45 Cuando se define un aumento de ángulo visual residual como un valor que se obtuvo sustrayendo el aumento de ángulo visual central del aumento de ángulo visual periférico M , este aumento de ángulo visual residual se expresa mediante la ecuación siguiente:

$$\text{aumento de ángulo visual residual} = \text{aumento de ángulo visual periférico } M - \text{aumento de ángulo visual central } M_0$$

La definición ampliada de la aberración de distorsión de las gafas según la realización de la presente invención en la que se tiene en cuenta la ley de Listing se convierte en las ecuaciones (n), (o) siguientes:

aumento de ángulo visual residual = aumento de ángulo visual

periférico M — aumento de ángulo visual central M_0 ... (n)

aberración de distorsión residual $DIST = Signo \times 100 \times (\text{valor absoluto del aumento de ángulo visual residual/valor absoluto del aumento de ángulo visual central } M_0) \dots(o)$

5 donde Signo se define como un signo positivo/negativo de un producto escalar del aumento de ángulo visual residual y el aumento de ángulo visual central M_0 .

10 La figura 2 es una vista que muestra la correlación de las ecuaciones (n) y (o).

A través de lo anterior, se deduce una ecuación de aberración de distorsión residual de las gafas en la que se tiene en cuenta la ley de Listing y se incorpora adicionalmente en la función de mérito.

IV. (Preparación de la función de mérito)

15 En el método de diseño de lente de gafas según la realización de la presente invención, se supone el estado en el que un rayo pasa por una lente y se realiza el cálculo de simulación mediante el método de trazado de rayos, y habitualmente, pueden adoptarse de aproximadamente 5 a aproximadamente 10 lentes simétricas de manera axial y pueden adoptarse de aproximadamente 15 a aproximadamente 10000 lentes según esta realización para calcular las ecuaciones (g), (o) mencionadas anteriormente.

20 En el caso de la ecuación (g) mencionada anteriormente, se obtienen diferentes valores dependiendo de la distancia de objeto evaluada. Se realiza una determinación en la que se tiene en cuenta la distancia de objeto de una característica de la lente, etc..

25 Por ejemplo, en términos estrictos, no hay ningún un valor de agudeza visual realmente medido de visión cercana en una ecuación (p) descrita más adelante, pero pueden calcularse respuestas a la dioptría residual S y la dioptría residual C suponiendo que son similares a las que se producen en un caso de visión lejana.

30 Además, se dice que la aberración de distorsión dinámica de las gafas no está teóricamente relacionada con la distancia de objeto, pero en realidad, no existe ningún criterio claro sobre como tratar la distribución de la agudeza visual y la distorsión, etc. Por tanto, pueden establecerse libremente dentro de un intervalo que no se aparta del objeto del diseño.

35 A partir de lo anterior, la función de mérito según la presente invención, que es una función combinada de funciones de evaluación y es un criterio de evaluación único, se convierte en la ecuación (p) siguiente.

$$\text{función de mérito} = a \times \sum_n (u_n \cdot \text{visión lejana } \log MAR_n)^2 + b \times \sum_n (v_n \cdot \text{visión cercana } \log MAR_n)^2 + c \times \sum_n (w_n \cdot \text{residual } DIST_n) \dots(p)$$

40 En este caso, a, b y c son la distribución de ponderación de funciones de evaluación respectivas; u, v y w son la distribución de ponderación en los puntos de evaluación respectivos; y n es un punto de evaluación de lente. Naturalmente, se incluye la idea (= no aprobada) de que la distribución de ponderación es 0 (cero), pero naturalmente, nunca se hace 0 de manera sincrónica.

45 Sin embargo, se dispone de pocos datos experimentales objetivos que determinen la ponderación, y en la solicitud actual, la distribución de ponderación se lleva a cabo considerando el objeto de uso de la lente, y factores estéticos, económicos, ópticos, etc.

Además, es posible añadir a la función de mérito de la presente invención elementos no relacionados directamente con la agudeza visual tal como una forma de lente, etc.

5 La función de mérito (p) mencionada anteriormente se optimiza usando el método de optimización. Este método de optimización es tal como se explicó en la sección de la técnica anterior descrita anteriormente (por ejemplo, en la publicación de patente japonesa n.º Hei 2-38930 mencionada anteriormente, etc.).

10 La función de mérito (p) mencionada anteriormente se estudiará desde el punto de vista del grado de libertad del diseño de una superficie de refracción de lente.

15 Cuando una superficie frontal y una superficie posterior de la lente son superficies curvadas libres que pueden transformarse libremente con la condición restrictiva de que la dioptría de la lente sea fija basándose en un valor de prescripción, un primer término o un segundo término en la función de mérito puede hacerse cero mediante la transformación de estas dos superficies.

20 Específicamente, a una cierta distancia de objeto, el astigmatismo y la curvatura de campo que son factores constituyentes de la función de evaluación de la agudeza visual logMAR pueden hacerse ambas 0.

25 Sin embargo, cuando se añade un factor estético de su aspecto y se tiene en cuenta un punto de vista económico tal como costes de fabricación en el diseño de la superficie frontal que es una superficie sobre un lado de objeto de la lente, por ejemplo, cuando se añade la condición restrictiva de una superficie esférica axialmente simétrica, resulta difícil de manera sincrónica hacer 0 el astigmatismo residual y la curvatura de campo en toda la superficie de la lente de gafas a una cierta distancia de objeto.

30 Aún más, generalmente es difícil hacer que la aberración de distorsión residual DIST sea 0 en la estructura de superficie en la que existe dioptría de lente, sin influir en otras funciones de evaluación. Por tanto, un coeficiente y ponderación se tratan como elementos de diseño. Además, desde el punto de vista del grado de libertad de diseño, cuando se fija la estructura de la superficie frontal, por ejemplo, a la condición de una esfera, etc., se limita el grado de libertad de diseño, y resulta difícil controlar un tercer término en la función de mérito, concretamente, la aberración de distorsión residual DIST.

35 En otras palabras, la función de mérito es una función en la que las aberraciones se combinan de manera complicada tal como se describió anteriormente, y si la superficie tiene una restricción tal como una esfera cuando la función de mérito se optimiza mediante la optimización, la optimización está influida por la restricción.

40 Por tanto, es preferible que la superficie frontal y la superficie posterior de la lente de gafas se establezcan ambas de tal manera que puedan diseñarse mediante libre transformación, permitiendo de ese modo que la función de mérito se controle libremente y aumentando el grado de libertad de diseño.

40 **V. (Diseño de lente biasférica)**

45 En este caso, como ejemplo de diseño en el que se tiene en cuenta el grado de libertad de diseño, se explicará una lente de gafas que consiste en superficies esféricas en ambos lados, lo que permite que se optimice la función de mérito anterior mediante el cálculo de optimización con alta precisión y con alta eficacia de cálculo.

50 Puesto que según la ley de Listing, el giro se realiza en una dirección de radiación desde la primera posición del ojo del ojo tal como se describió anteriormente, una expresión correspondiente de una superficie de lente se convierte en directamente correspondiente al movimiento del globo ocular cuando se expresa mediante un sistema de coordenadas esférico y un sistema de coordenadas cilíndrico siendo el origen el centro de lente.

55 Sin embargo, cuando se expresa mediante otros sistemas de coordenadas, por ejemplo, un sistema de coordenadas ortogonal, etc., se vuelve necesario un coeficiente de alto grado, aunque son equivalentes matemáticamente, con el fin de provocar un efecto equivalente en un cálculo numérico, y en consecuencia, se aumenta un error de cálculo.

60 Además, aunque la superficie curvada de *spline* mencionada anteriormente, una superficie curvada NURBS, etc. también pueden expresar superficies curvadas muy libres, constituyen básicamente el sistema de coordenadas ortogonal de manera similar al anterior de modo que se produce un problema similar en el cálculo numérico.

65 Por tanto, en esta realización, se usa una ecuación de superficie esférica del sistema de coordenadas cilíndrico como un método preferible (véase, por ejemplo, la técnica anterior 2 para la ecuación de superficie esférica del sistema de coordenadas cilíndrico en detalle).

(Ecuación de superficie esférica que expresa la forma de la superficie de refracción de la superficie frontal)

Una altura de lente Z1 de la superficie frontal, que se expresa mediante la ecuación (q) siguiente, se expresa como una ecuación de una sección transversal de lente.

$$Z1 = c \cdot r^2 / (1 + \sqrt{1 - (1 + k) \cdot c^2 \cdot r^2}) + \sum_n a(n) \cdot r^n \quad \dots(q)$$

5 En el primer término del lado derecho, que es una superficie cuadrática de giro; c es una curvatura de centro; k es un coeficiente cónico; y r es una distancia entre la posición de la lente saliente sobre un plano horizontal del sistema de coordenadas cilíndrico y el origen, y en el segundo término, que es una desviación de la superficie cuadrática de giro, n, aunque toma valores desde 2, habitualmente toma valores de desde 4 hasta 12 puesto que interfiere con el primer término. a(n) es un coeficiente de grado n de r y es una cantidad denominada un coeficiente esférico.

10 **V-1 (Ecuación de superficie esférica que expresa la forma de la superficie de refracción de la superficie posterior)**

Una ecuación de la superficie posterior de la presente invención es la ecuación (r) siguiente:

$$Z2 = c(\theta) \cdot r^2 / (1 + \sqrt{1 - (1 + k(\theta)) \cdot c(\theta)^2 \cdot r^2}) + \sum_n a(n, \theta) \cdot r^n \quad \dots(r)$$

15 En este caso, c(θ), k(θ) son funciones para un azimut θ. a(n, θ) es una función para el grado n de la distancia r y el azimut θ. Debido a la simetría de plano de la lente astigmática, en cuanto a un dominio de definición del azimut θ, de 0 grados a 90 grados puede representar de 0 grados a 360 grados. En este caso, c(θ) es una curvatura del centro de lente, y si la curvatura de los dos meridianos principales ortogonales entre sí es c(0) y c(90) a 0 grados y 90 grados, respectivamente, como está indicado en el teorema de la curva gaussiana, se obtiene la siguiente ecuación (s) a partir del teorema de Euler.

25 En el caso de la lente, se toman de 0 grados y 90 grados en el eje de dioptría esférico y en el eje de dioptría astigmático respectivamente, y c(θ) se expresa mediante la ecuación (s) siguiente:

$$c(\theta) = c(0) \cdot \cos^2 \theta + c(90) \cdot \sin^2 \theta \quad \dots(s)$$

30 k(θ) es similar a la ecuación (s) anterior y se convierte en una ecuación en la que el signo c en c(θ) se reemplaza por el signo k. a(n, θ) satisface los requisitos de continuidad de plano y simetría de plano, es una superficie adicional que satisface un requisito de una superficie que puede controlar una aberración debido a una desviación del ángulo que se produce debido a la ley de Listing, y satisface las condiciones siguientes ① a ④:

35 ①: tener una relación funcional del azimut θ de desde 0 grados hasta 90 grados;

②: un coeficiente diferencial lineal del azimut θ es 0 de desde 0 grados hasta 90 grados;

③: un coeficiente diferencial de grado elevado es continuo; y

40 ④: tener un grupo de parámetros Ps(n) que pueden controlar un valor de a(n, θ) a un ángulo θ de una función entre los azimut de 0 grados y 90 grados (en el que de 1 a 3 son preferibles para el número de s y n significa un grado en la ecuación (r) anterior).

45 Concretamente, por ejemplo

(en un caso en el que la relación funcional es un polinomio de un ángulo)

si el polinomio es un polinomio de cuarto grado del azimut θ, y a a 0 grados, 45 grados, 90 grados es a(n, 0), a(n, 45), a(n, 90) respectivamente, a(n, θ) se convierte en la ecuación (t) siguiente:

50

$$a(n, \theta) = a(n, 0) + (-11 \cdot a(n, 0) + 16 \cdot a(n, 45) - 5 \cdot a(n, 90)) \cdot \theta^2 / (4 \cdot 90^2) + (9 \cdot a(n, 0) - 16 \cdot a(n, 45) + 7 \cdot a(n, 90)) \cdot \theta^3 / (4 \cdot 90^3) + (-2 \cdot a(n, 0) + 4 \cdot a(n, 45) - 2 \cdot a(n, 90)) \cdot \theta^4 / (4 \cdot 90^4) \dots(t)$$

En este caso, el parámetro de control mencionado anteriormente en ④ es uno para el grado n de la distancia r desde el centro y el parámetro de control P1(n) es a(n, 45). (En un caso en el que la relación funcional no es un polinomio de un ángulo, por ejemplo, es una función trigonométrica) a(n, θ) se expresa mediante la siguiente ecuación (u), si a es a(n, 0) y a(n, 90) cuando el azimut θ es 0 grados y 90 grados, respectivamente en la siguiente función y si el parámetro de control que es uno para el grado n de la distancia r desde el centro es P1(n) de manera similar al anterior:

$$a(n, \theta) = a(n, 0) \cdot \cos^2 \theta + a(n, 90) \cdot \sin^2 \theta + P(1, n) \cdot \sin^2(2 \cdot \theta) \dots(u)$$

Las ecuaciones (t), (u) satisfacen ambas las condiciones anteriores de ① a ④.

Por tanto, existen diversas ecuaciones que satisfacen las condiciones anteriores de ① a ④.

(Ejemplo 1)

En el ejemplo 1, se diseña una lente de gafas usando la función de evaluación sobre la agudeza visual de la presente invención, y a continuación se explicarán las líneas generales del procedimiento de diseño de la misma.

(Etapa 1): Establecer una forma de lente de diseño básico de las superficies de refracción frontal y posterior

En este ejemplo, se selecciona una forma de lente biasférica que tiene el más alto grado de libertad de diseño, siendo la superficie frontal una superficie esférica que es axialmente simétrica y se expresa mediante la ecuación (q) anterior y siendo la superficie posterior una superficie esférica expresada mediante la ecuación (r) anterior.

(Etapa 2): Establecer condiciones fijas y condiciones variables de un parámetro de factor de determinación de forma

Las condiciones de diseño son, en los valores de prescripción, una dioptría esférica es - 7,00 D, una dioptría cilíndrica es - 2,00 D, un índice de refracción (ne) es 1,7, un diámetro de lente es 75 mm, y un espesor del centro de lente es 1 mm, tal como se muestra en la figura 7.

En las ecuaciones de superficie esférica anteriores (q) y (r), k(θ) es 0 y se aplica la ecuación (t) a a(n, θ).

Obsérvese que los coeficientes están en las ecuaciones son tal como se muestra en la figura 7.

(Etapa 3): Establecer la función de mérito y un valor objetivo del cálculo de optimización

La ecuación (p) anterior se usa para la función de mérito y su condición es a = 1, b = 0, c = 0, y u = 1.

La ecuación (j) se usa para la ecuación de la función de evaluación de la agudeza visual logMAR y su condición es X = 2.

(Etapa 4): Cálculo de optimización

Basándose en puntos de evaluación de lente establecidos, su evaluación se realiza usando la función de mérito mencionada anteriormente mediante el método de trazado de rayos, se evalúa el rendimiento óptico, se repite el cálculo de simulación operando parámetros de transformación que constituyen la superficie de refracción de la lente hasta se obtiene el valor objetivo predeterminado, y se lleva a cabo el cálculo de optimización.

En ese momento, se calcula una solución óptima con la condición de que la curvatura de la superficie frontal no se haga negativa (por otro lado, una lente cuya curvatura de la superficie frontal se hace negativa se describe en la técnica anterior 1, pero no puede decirse que es estéticamente óptima puesto que una luz reflejada es fuerte).

5 En este ejemplo, se determina la forma de superficie de refracción final fijando la condición de diseño de que la superficie frontal es esférica y variando la forma de la superficie posterior para satisfacer los valores de prescripción. Los datos de lente obtenidos (datos de rendimiento de la lente final una vez terminada la optimización) se muestran en la tabla 1 en la figura 3.

10 Además, la distribución de los valores de agudeza visual logMAR en el ejemplo 1 en el caso de los datos de la lente en la figura 3 se muestra en la figura 5.

El 64% de una porción fina en la parte de centro de lente produce una agudeza visual preferible cuyo valor de agudeza visual logMAR es 0,2 o inferior.

15 Se muestra para comparación una lente de forma de Percival en la que la curvatura de campo se reduce en las mismas condiciones que las del ejemplo 1.

20 Los datos de lente obtenidos y la distribución de los valores de agudeza visual logMAR se muestran en la tabla 2 en la figura 4 y la figura 6, respectivamente.

La curvatura de campo de esta lente es preferible, pero el 56% de la porción fina de la parte de centro de lente produce una agudeza visual preferible cuyo valor de agudeza visual logMAR es 0,2 o inferior.

25 Por lo tanto, está claro que el intervalo de agudeza visual preferible se obtiene en la figura 5, comparado con el de la figura 6, y el control de la función de evaluación de la agudeza visual puede realizarse de manera suficiente de modo que se obtiene el efecto esperado.

(Ejemplo 2)

30 En el ejemplo 2, se añade adicionalmente una función de evaluación sobre la aberración de distorsión residual DIST al ejemplo 1 para diseñar una lente de gafas. Puesto que la lente no produce agudeza visual y no puede obtenerse una solución óptima cuando sólo se usa la aberración de distorsión residual DIST en la ecuación (p) de función de mérito mencionada anteriormente, el valor de agudeza visual logMAR y la aberración de distorsión residual DIST se equilibran en la ecuación (p).

35 En la ecuación (p), $a = 1$, $b = 0$, $c = 0,02$, $u = 1$, y $w = 1$, y la ecuación (j) se usa para la ecuación para la función de evaluación de la agudeza visual logMAR.

40 Las ecuaciones (q), (r) se usan para la ecuación de superficie biasférica, $k(\theta)$ es 0, y la ecuación (t) se aplica para $a(n, \theta)$.

45 Los datos en la figura 5 en el ejemplo 1 se usan para la superficie frontal. Aunque esto no es una condición apropiada para mejorar mucho la aberración de distorsión residual DIST puesto que se establece una condición fijada para las superficies frontal y posterior, el cálculo de optimización se realiza según la condición anterior puesto que está indicado que la aberración de distorsión residual DIST puede controlarse dentro de un cierto intervalo. Los datos de lente obtenidos se muestran en la tabla 3 en la figura 7.

50 La figura 8 es una tabla que muestra la distribución de la aberración de distorsión residual DIST en el primer cuadrante. El extremo derecho inferior es el centro de lente, en el que la aberración de distorsión residual DIST es 0. El eje horizontal es un ángulo de salida de lente en la dirección del eje S de la lente, que se muestra para cada punto de 3 grados, y de manera similar, el eje vertical es el mismo en la dirección del eje C de la lente.

55 La figura 9 muestra, como ejemplo de comparación, la distribución de la aberración de distorsión residual DIST en las condiciones de la figura 5 en el ejemplo 1 en la que la aberración de distorsión residual DIST no se evalúa como una función de evaluación. Los valores finales del eje horizontal y el eje vertical en la figura 8 son del 43% y del 60%, y los valores finales del eje horizontal y el eje vertical en la figura 9 son del 44% y del 63%. Puesto que un valor más pequeño significa en este caso un estado más preferible, está claro que puede realizarse de manera suficiente el control de la función de evaluación para la aberración de distorsión residual DIST y se obtiene el efecto esperado.

60 Por otro lado, en la figura 10 se muestra una vista de distribución de la agudeza visual logMAR en las condiciones de la figura 7. El intervalo en el que el valor de agudeza visual logMAR es 0,2 o inferior es del 53%, y al mejorarse la aberración de distorsión residual DIST y el valor de agudeza visual logMAR, están en una correlación de intercambio en la que, cuando un valor mejora, el otro valor disminuye.

65

5 Sin embargo, puesto que la oscilación se detecta habitualmente en una parte periférica, también es posible mejorar la aberración de distorsión residual DIST de tal manera que se idea la distribución de las ponderaciones (u, v, w) en los puntos de evaluación respectivos en la ecuación (q) de la función de mérito mencionada anteriormente con el fin de dar una ponderación superior al valor de agudeza visual logMAR en la parte central y de sacrificar el valor de agudeza visual logMAR en la parte periférica.

10 La función de mérito que incluye la función de evaluación de la agudeza visual según la presente invención se usa para la lente tipo biasférica que tiene un único foco en este ejemplo. Sin embargo, puesto que la estructura técnica de la invención se caracteriza porque la función de evaluación de la agudeza visual se usa como la función de evaluación de la función de mérito usada en el cálculo de optimización, no está limitada por la forma de refracción de la superficie de lente, y puede usarse en el diseño de todas las lentes que incluyen superficies de refracción progresiva.

15 Por ejemplo, en una lente de potencia progresiva, se añaden otros factores tales como una parte de distancia, una parte cercana y una zona progresiva además de la ponderación en la parte periférica y la parte central de la lente, que se usa en el caso de las lentes habituales y el diseño ponderado de visión cercana, diseño ponderado de visión lejana, diseño ponderado de visión intermedia, etc. también se añaden al objeto del diseño. Sin embargo, puesto que la lente de potencia progresiva usa la superficie de lente esférica de manera similar a este ejemplo cuando se clasifica en lo que se refiere a una superficie de lente, la presente invención puede aplicarse a la lente de potencia progresiva haciendo que la función de mérito según la presente invención corresponda al objeto de su diseño, estableciendo de manera apropiada la distribución de ponderación en los puntos de evaluación, estableciendo la dioptría objetivo y una aberración de distorsión objetivo, y cambiando estos elementos de diseño.

20 La presente invención es especialmente útil para el diseño en el que se tiene en cuenta la ley de Listing puesto que puede llevarse a cabo una simulación precisa.

25 Además, puede decirse lo mismo para una lente cuya superficie posterior es una superficie de fusión de una superficie esférica y una superficie astigmática.

30 En este ejemplo, se usan los datos en Optmetric Monthly, Nov.: 31-32 1981: escrito por Robert N. Kleinstein como un artículo sobre el procesamiento en la retina y el cerebro en lo que respecta a la agudeza visual. La presente invención, sin embargo, no se limita a esto, y puede usarse cualquier dato y puede deducirse la función de evaluación de la agudeza visual incluida en la presente invención de los datos, siempre que sean datos en el valor medido de agudeza visual en los que, por ejemplo, la agudeza visual y la dioptría están correlacionadas.

35 Además, en un método de fabricación, en el caso de, por ejemplo, la lente biasférica en este ejemplo, la superficie frontal está hecha para que sea una superficie esférica axialmente simétrica y la superficie posterior está hecha para que sea una lente esférica de la superficie curvada libre, de modo que puede usarse una lente semi-terminada, que es eficaz en lo que se refiere al tiempo y al coste. En otras palabras, cuando una pluralidad de lentes esféricas axialmente simétricas que tienen una curva de base común predeterminada se preparan de antemano tal como se describió anteriormente, en primer lugar se selecciona la lente semi-terminada según la prescripción tras la recepción del pedido, y después se diseña su superficie posterior, lo que es más ventajoso que diseñar una superficie convexa y una superficie cóncava tras cada recepción del pedido y preparar una lente terminada.

40 Además, mediante la fijación del diseño mencionada anteriormente, resulta posible preparar productos terminados de antemano dejándolos en reserva según la prescripción.

Disponibilidad industrial

50 Tal como se detalló anteriormente, a diferencia de un diseño de lente de gafas en una técnica anterior en el que el rendimiento de una lente de gafas se evalúa solamente con índices tales como una cantidad óptica en la retina y aberraciones basándose en la idea técnica de que el rendimiento de la lente de gafas se mejora a medida que el rendimiento óptico se hace superior, resulta posible diseñar una lente de gafas basándose en una simulación en un cuerpo humano vivo, en la que se tienen en cuenta los puntos de vista del procesamiento en la retina y el cerebro y de un movimiento del globo ocular, y puede obtenerse una lente de gafas con rendimiento superior.

REIVINDICACIONES

1. Método de diseño y fabricación de una lente de gafas para astigmatismo, que comprende las etapas de:
- 5 proporcionar un modelo matemático de una lente de gafas basado en una pluralidad de parámetros de la lente,
- establecer, en una superficie de lente, una pluralidad de puntos de evaluación sobre una primera y una segunda superficies de refracción de la lente que tiene distancias diferentes desde un eje óptico de la lente;
- 10 expresar aberraciones ópticas en los puntos de evaluación mediante una función de mérito;
- usar un procedimiento de cálculo de optimización para minimizar la función de mérito a fin de evaluar el rendimiento óptico de la lente,
- 15 una etapa de diseño que consiste en utilizar los parámetros de la lente que constituyen las superficies de refracción de la lente hasta que la función de mérito alcanza un valor objetivo predeterminado para determinar la forma de las superficies de refracción de la lente; y
- 20 fabricar la lente según el diseño obtenido en la etapa de diseño,
- caracterizado porque:
- la función de mérito incluye una función de evaluación de la agudeza visual logMAR derivada de valores de agudeza visual medidos, que se interpolan según la fórmula:
- 25

$$\log\text{MAR} = X \log_{10} 2 \{ (\text{curvatura de campo})^2 + (\text{astigmatismo residual} / 2)^2 \}^{1/2}$$

30 donde X es un coeficiente seleccionado de entre 0,5 y 2 según dichos valores de agudeza visual medidos y la curvatura de campo y el astigmatismo residual se calculan basándose en los parámetros de lente.

2. Método de diseño y fabricación de una lente de gafas para astigmatismo según la reivindicación 1, en el que dicha función de mérito incluye una función de evaluación sobre una aberración de distorsión (aberración de distorsión residual DIST) expresada mediante la ecuación (3) siguiente:
- 35

$$\text{aberración de distorsión residual DIST} = \text{Signo} \times 100 \times (\text{valor absoluto del aumento del ángulo visual residual} / \text{valor absoluto del aumento del ángulo visual central } M_0) \dots(3)$$

40 donde la aberración de distorsión residual y el aumento de ángulo visual residual son respectivamente la aberración de distorsión y un aumento de ángulo visual, que se producen en una dirección de radiación desde un centro de una superficie de lente y se calculan basándose en la ley de Listing, y Signo es un signo positivo/negativo.

3. Método de diseño y fabricación de una lente de gafas para astigmatismo según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que dicha función de mérito se usa para realizar un procedimiento de cálculo de optimización para el diseño de una lente biasférica en la que una superficie frontal es una superficie esférica axialmente simétrica y una superficie posterior es una superficie esférica expresada mediante la ecuación (4) siguiente:
- 45

$$Z2 = c(\theta) \cdot r^2 / (1 + \sqrt{1 - (1 + k(\theta)) \cdot c(\theta)^2 \cdot r^2}) + \sum_n a(n, \theta) \cdot r^n \dots(4)$$

50 donde:

. c(θ), k(θ) son funciones para un azimut θ;

55 . a(n, C) es un coeficiente de rⁿ, y una función del azimut θ;

. en cuanto a un dominio de definición del azimut θ , de 0 grados a 90 grados representa de 0 grados a 360 grados debido a una simetría de plano de una lente astigmática;

5 . $c(\theta)$ es una curvatura de un centro de lente y se expresa mediante la ecuación (5) siguiente basándose en el teorema de Euler, si una curvatura de un meridiano principal de gafas en un teorema de la curva gaussiana es $c(0)$ a 0 grados y $c(90)$ a 90 grados, en la que 0 grados es un eje de dioptría esférico y 90 grados es un eje de dioptría cilíndrico;

$$c(\theta) = c(0) \cdot \cos^2 \theta + c(90) \cdot \sin^2 \theta \quad \dots(5)$$

10 . $k(\theta)$, es similar a dicho $c(\theta)$; y se expresa mediante una ecuación similar a dicha ecuación (3) en la que c se reemplaza por k ; y

15 . $a(n, \theta)$ satisface los requisitos de continuidad de plano y simetría de plano, es una superficie que puede controlar una aberración debido a una desviación del ángulo que se produce debido a la ley de Listing, y además satisface las condiciones siguientes ① a ④:

①: tener una relación funcional del azimut θ de desde 0 grados hasta 90 grados;

20 ②: un coeficiente diferencial lineal del azimut θ es 0 de desde 0 grados hasta 90 grados;

③: un coeficiente diferencial de grado elevado es continuo; y

25 ④: tener un grupo de parámetros de control $P_s(n)$ que puede controlar una función, con el azimut θ establecido entre 0 grados y 90 grados, en el que s es 1, 3 o un número entre estos y n se refiere a una función de orden elevado en dicha ecuación (4).

30 4. Método de diseño y fabricación de una lente de gafas para astigmatismo según la reivindicación 3, en la que $a(n, \theta)$ en dicha ecuación (4) se expresa mediante la ecuación (6) siguiente que es un polinomio de cuarto grado del azimut θ , si $a(n, \theta)$ es $a(n, 0)$, $a(n, 45)$, $a(n, 90)$ cuando el azimut θ es 0 grados, 45 grados, y 90 grados, respectivamente:

$$a(n, \theta) = a(n, 0) + (-11 \cdot a(n, 0) + 16 \cdot a(n, 45) - 5 \cdot a(n, 90)) \cdot \theta^2 / (4 \cdot 90^2) + (9 \cdot a(n, 0) - 16 \cdot a(n, 45) + 7 \cdot a(n, 90)) \cdot \theta^3 / (4 \cdot 90^3) + (-2 \cdot a(n, 0) + 4 \cdot a(n, 45) - 2 \cdot a(n, 90)) \cdot \theta^4 / (4 \cdot 90^4) \quad \dots(6)$$

35 donde un parámetro de control es uno para el grado n de la distancia r desde el centro y un parámetro de control $P_1(n)$ es $a(n, 45)$.

40 5. Método de diseño y fabricación de una lente de gafas para astigmatismo según la reivindicación 3, en el que $a(n, \theta)$ en dicha ecuación (4) se expresa mediante la ecuación (7) siguiente, donde a es $a(n, 0)$ y $a(n, 90)$ cuando el azimut θ es 0 grados y 90 grados, respectivamente:

$$a(n, \theta) = a(n, 0) \cdot \cos^2 \theta + a(n, 90) \cdot \sin^2 \theta + P_1(n) \cdot \sin^2(2 \cdot \theta) \quad \dots(7)$$

45 donde un parámetro de control es un parámetro de control $P_1(n)$ para el grado n de la distancia r desde el centro.

FIG.1

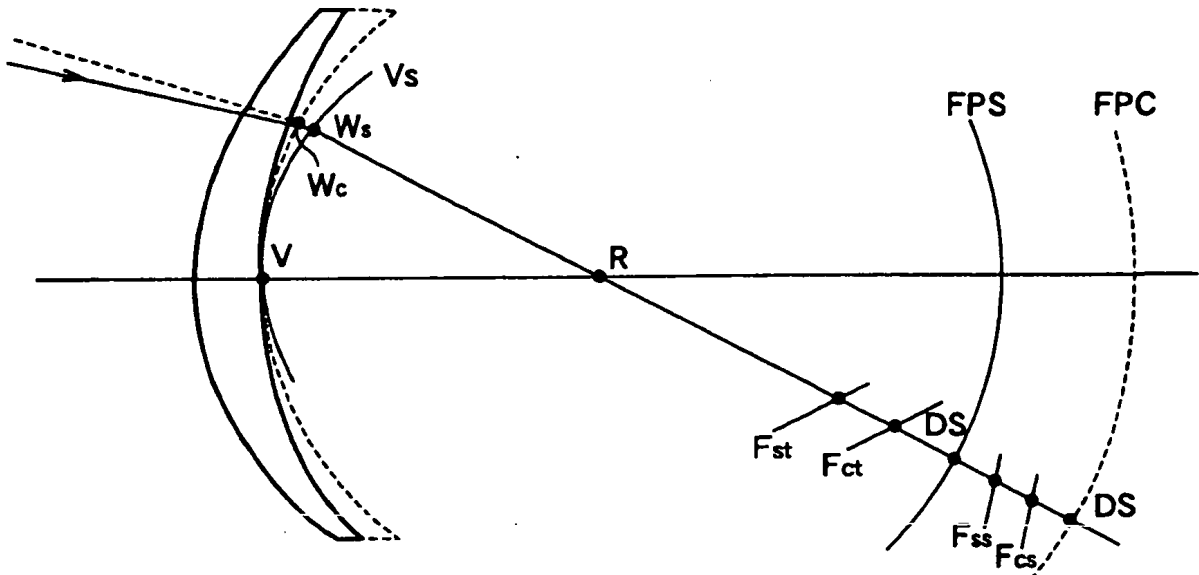


FIG.2

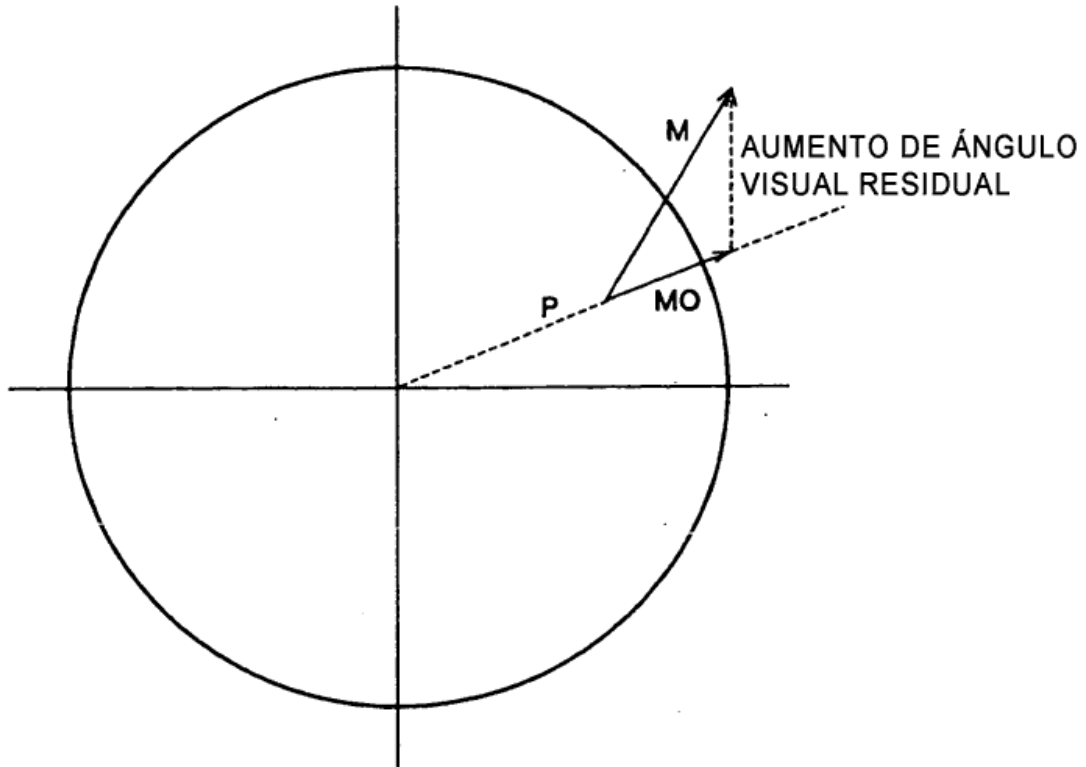


FIG.3

TABLA 1

DIOPTRÍA ESFÉRICA (D)	-7
DIOPTRÍA CILÍNDRICA (D)	-2
ÍNDICE DE REFRACCIÓN	1.7
ESPEJOR DEL CENTRO (mm)	1
DIÁMETRO DE LENTE (mm)	75
COEFICIENTE DE SUPERFICIE FRONTAL	
c (1/mm)	0.001072487
k	0
a(4)	-1.97074E-08
a(5)	8.85819E-14
a(6)	1.95158E-13
a(7)	1.38536E-15
COEFICIENTE DE SUPERFICIE POSTERIOR	
c (0) (1/mm)	0.011087268
c (90) (1/mm)	0.013948498
k(0)	0
k(90)	0
a(4,0)	-3.85844E-07
a(5,0)	1.43865E-11
a(6,0)	1.21339E-11
a(7,0)	7.21652E-14
a(4,45)	-3.73841E-07
a(5,45)	7.63300E-12
a(6,45)	8.96739E-12
a(7,45)	6.20817E-14
a(4,90)	-3.58938E-07
a(5,90)	5.05381E-15
a(6,90)	2.66708E-14
a(7,90)	-1.34963E-17

FIG.4

TABLA 2

DIOPTRÍA ESFÉRICA (D)	-7
DIOPTRÍA CILÍNDRICA (D)	-2
ÍNDICE DE REFRACCIÓN	1.7
ESPESOR DEL CENTRO (mm)	1
DIÁMETRO DE LENTE (mm)	75
COEFICIENTE DE SUPERFICIE FRONTAL	
c (1/mm)	0.001072487
k	0
a(4)	-1.97074E-08
a(5)	8.85819E-14
a(6)	1.95158E-13
a(7)	1.38536E-15
COEFICIENTE DE SUPERFICIE POSTERIOR	
c (0) (1/mm)	0.011087267
c (90) (1/mm)	0.013948497
k(0)	0
k(90)	0
a(4,0)	-2.81268E-07
a(5,0)	-1.18827E-08
a(6,0)	4.45672E-10
a(7,0)	-4.25475E-12
a(4,45)	-5.57166E-07
a(5,45)	1.97681E-08
a(6,45)	-7.08420E-10
a(7,45)	1.01548E-11
a(4,90)	-5.57166E-07
a(5,90)	1.97681E-08
a(6,90)	-7.08420E-10
a(7,90)	1.01548E-11

FIG.5

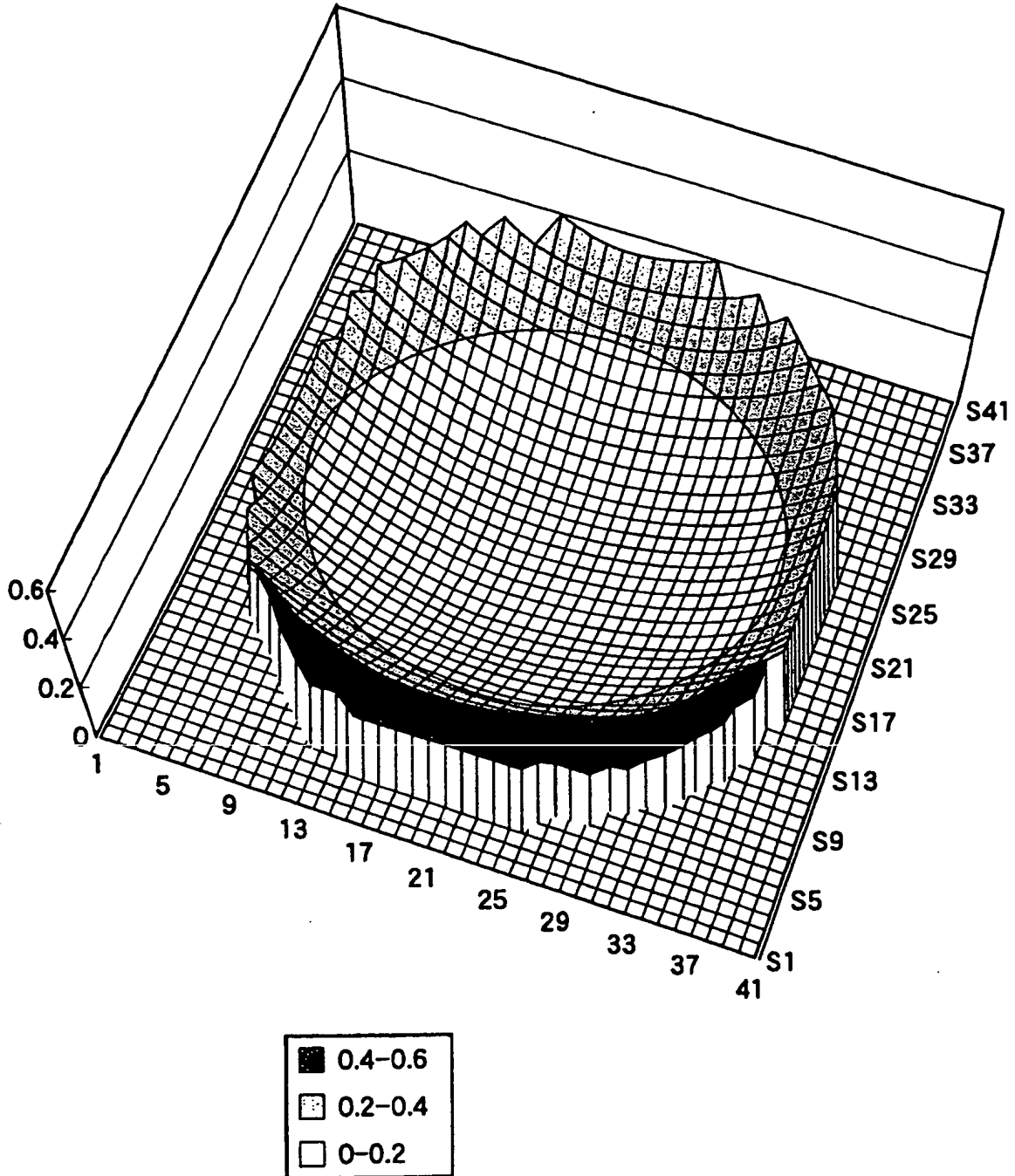


FIG.6

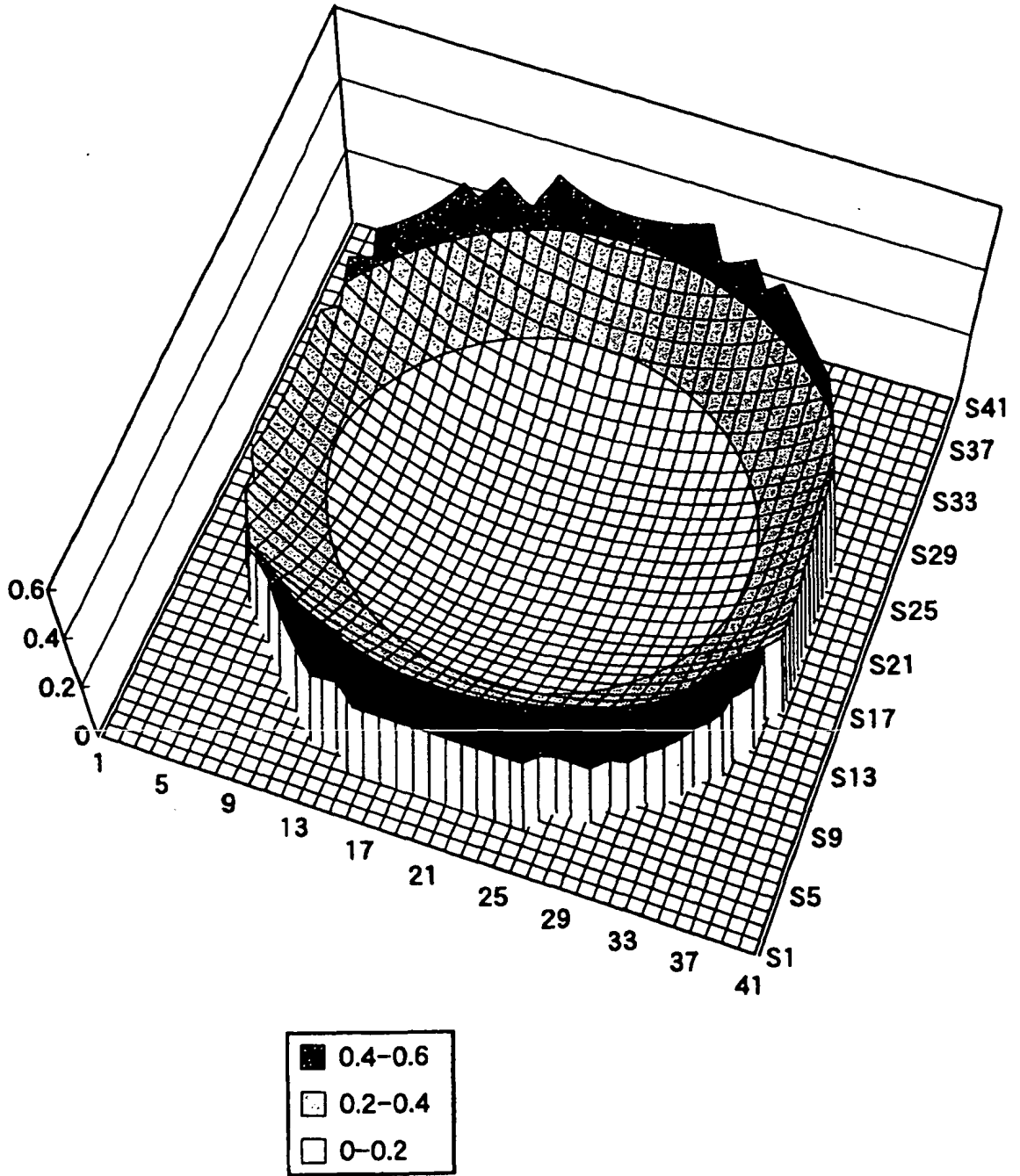


FIG.7

TABLA 3

DIOPTRÍA ESFÉRICA (D)	-7
DIOPTRÍA CILÍNDRICA (D)	-2
ÍNDICE DE REFRACCIÓN	1.7
ESPEJOR DEL CENTRO (mm)	1
DIÁMETRO DE LENTE (mm)	75
COEFICIENTE DE SUPERFICIE FRONTAL	
c (1/mm)	0.001072487
k	0
a(4)	-1.97074E-08
a(5)	8.85819E-14
a(6)	1.95158E-13
a(7)	1.38536E-15
COEFICIENTE DE SUPERFICIE POSTERIOR	
c (0) (1/mm)	0.011087267
c (90) (1/mm)	0.013948497
k(0)	0
k(90)	0
a(4,0)	-4.52371E-07
a(5,0)	2.01806E-11
a(6,0)	1.59487E-11
a(7,0)	9.06874E-14
a(4,45)	-4.97139E-07
a(5,45)	2.52748E-11
a(6,45)	2.09235E-11
a(7,45)	1.22387E-13
a(4,90)	-5.60973E-07
a(5,90)	1.25807E-11
a(6,90)	8.49791E-12
a(7,90)	4.25676E-14

FIG.10

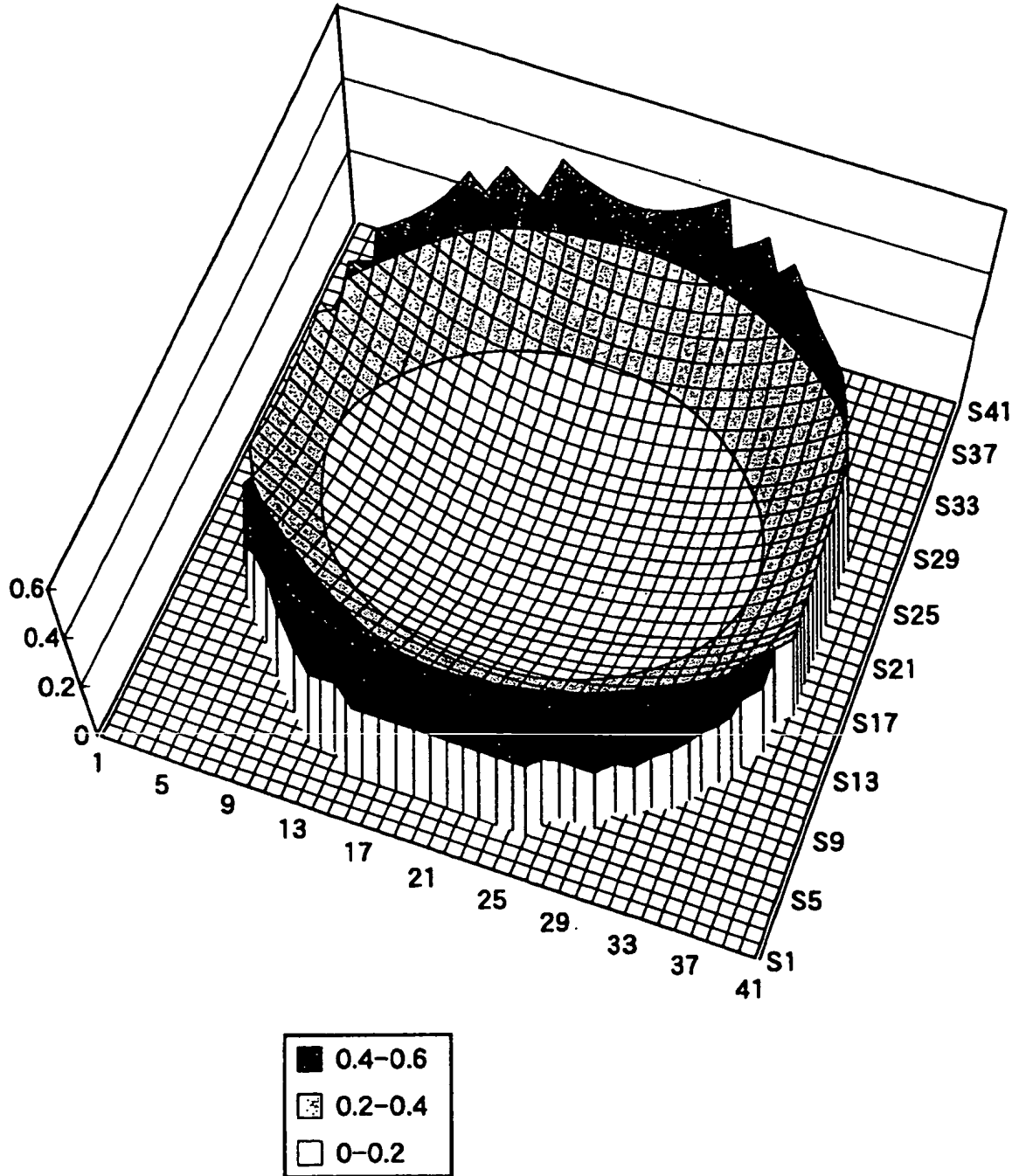


FIG.11

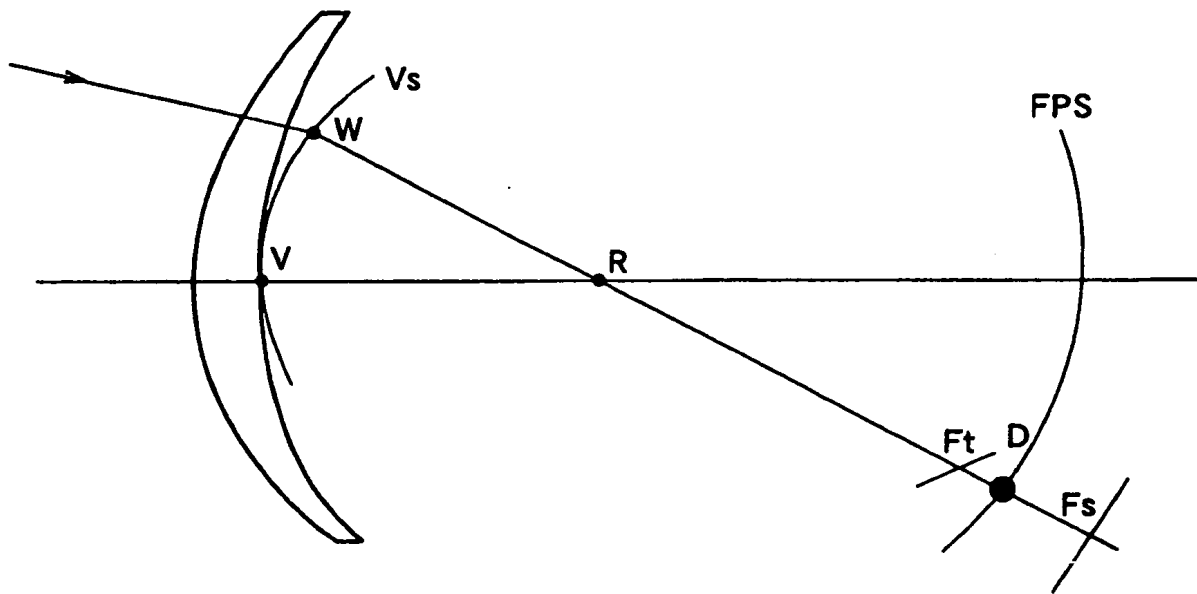
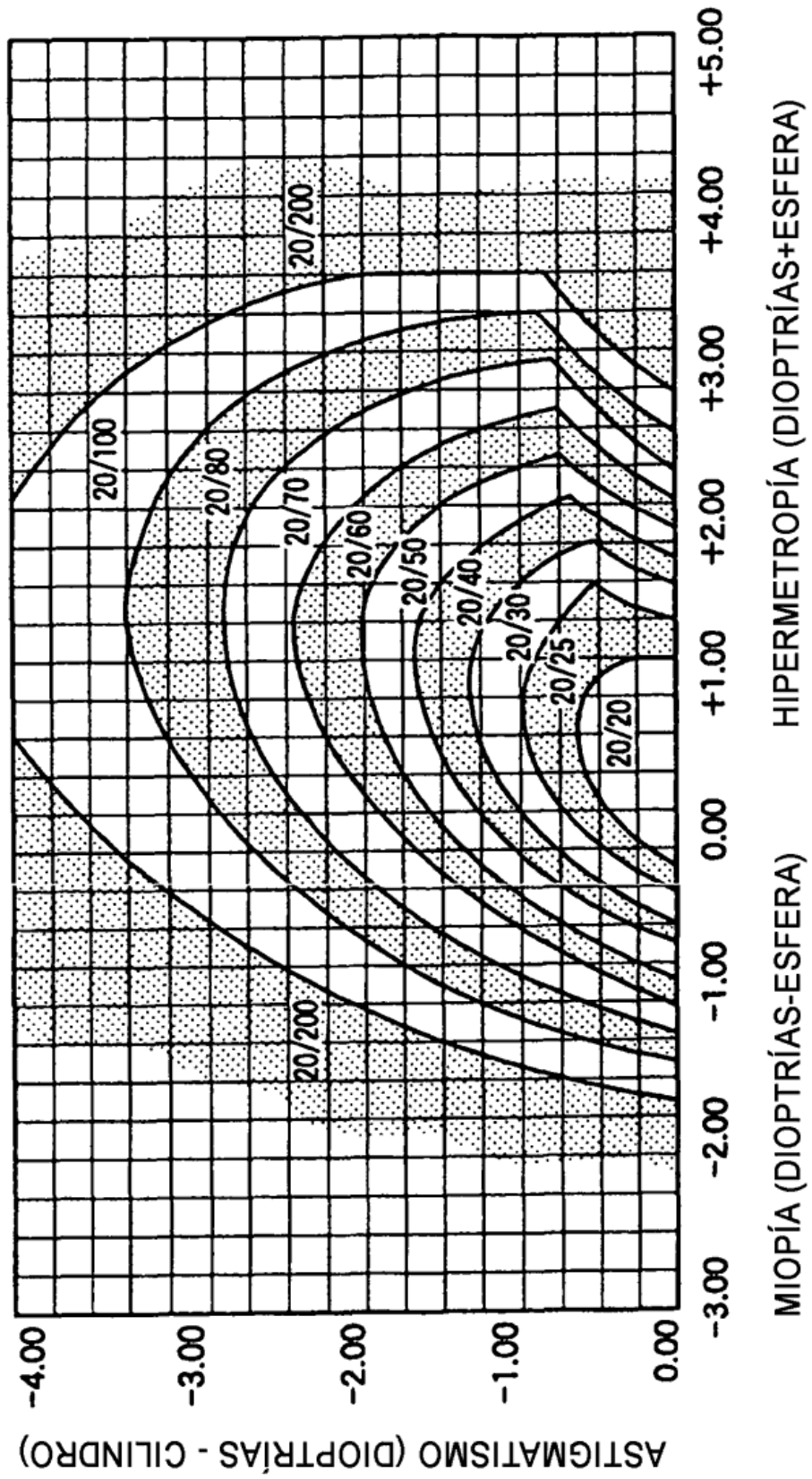


FIG.12



DOCUMENTOS CITADOS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de documentos citados por el solicitante se recoge sólo a modo de información para el lector y no forma parte del documento de patente europea. Aunque se ha recopilado con mucho cuidado, la OEP rechaza toda responsabilidad respecto a posibles errores u omisiones.

5 Documentos de patente citados en la descripción

- * JP SH05710112 B [0005]
- * JP SHO5559425 B [0010]
- * US 4613217 A [0005]
- * JP SHO6230216 B [0012]
- * JP HEI238930 B [006] [0082]
- * WO 9307525 A [0012]
- * JP SHO429416 B [0009]

10 Documentos que no son patentes citados en la descripción

- * **Milton Katz**. *APPLIED OPTICS*, vol. 21 [0010]
- * **Robert, N.** *Optometric Monthly*, 31 de noviembre 1981 [0032]
- * **Kazuo Miyake**, Futatabi Kakubairitsu nitsuite. *KOHGAKU*, vol. 19(10) [0016] [0059]